

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09199390  
PUBLICATION DATE : 31-07-97

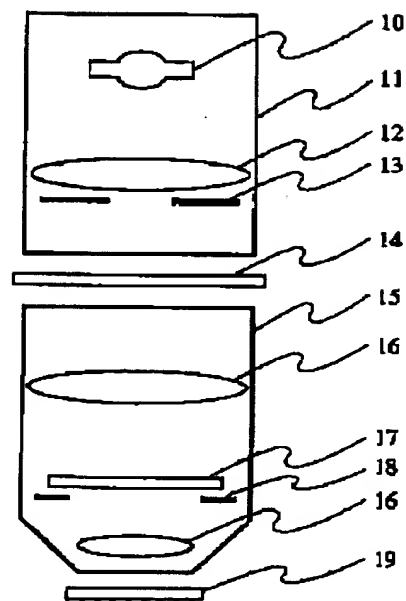
APPLICATION DATE : 16-01-96  
APPLICATION NUMBER : 08004942

APPLICANT : HITACHI LTD;

INVENTOR : FUKUDA HIROSHI;

INT.CL. : H01L 21/027 G03F 7/20

TITLE : PATTERN FORMING METHOD,  
PROJECTION ALIGNER AND  
SEMICONDUCTOR DEVICE  
MANUFACTURING METHOD



**ABSTRACT :** PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a pattern forming method for forming a projection image or photoresist pattern with fidelity to a design pattern, without doing complex corrections of a mask pattern, projection aligner and semiconductor device manufacturing method.

**SOLUTION:** Exposure is made with an amplitude transmittivity-variable pupil filter 17 disposed at the pupil of a projection lens of a projection aligner. The filter 17 is composed of a transparent substrate, phase shift film, semi-transparent film, screen stencil, etc., and replaced or rotated during several times or once exposure to the same position on the surface of a substrate 19 to be exposed whereby the fidelity of the contour of a pattern transfer image can be improved, without requiring any high NA projection lens or short wavelength of the exposure light to avoid forming poor resolution products, thereby producing semiconductor integrated circuit devices, etc., at high yield.

**COPYRIGHT:** (C)1997,JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-199390

(43) 公開日 平成9年(1997)7月31日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
			H 0 1 L 21/30	5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平8-4942

(22) 出願日 平成8年(1996)1月16日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 ルドルフ プノー

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 福田 宏

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 薄田 利幸

(54) 【発明の名称】 パターン形成方法、投影露光装置および半導体装置の製造方法

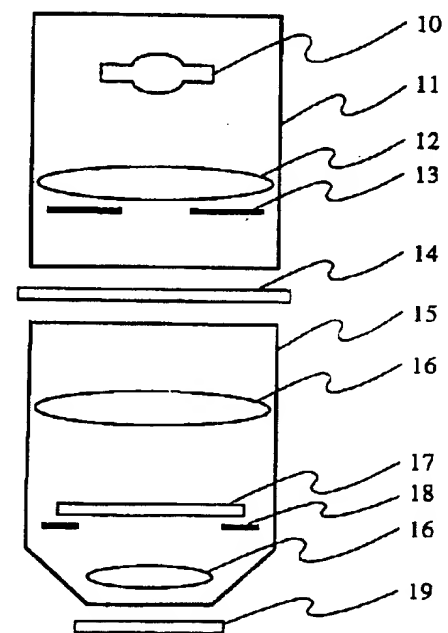
(57) 【要約】

【課題】マスクパターンの複雑な補正を行なうことなしに、設計パターンに忠実な投影像またはホトレジストパターンを形成できるパターン形成方法、投影露光装置および半導体装置の製造方法を提供する。

【解決手段】投影露光装置の投影レンズの瞳位置に、振幅透過率の可変な瞳フィルタを配置して露光を行う。瞳フィルタは透明基板、位相シフト膜、半透明膜および遮光用のステンシル等で構成され、被露光基板表面の同一位置に対する複数回または1回の露光中に、交換あるいは回転される。

【効果】投影レンズの高NA化、露光光の短波長化あるいはマスクパターンの一部の補正等を行なうことなしに、パターン転写像の輪郭の忠実性を向上でき、解像不良の発生を防止して、半導体集積回路装置等を高い歩留まりで製造できる。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】マスクに形成された所定のパターンを投影レンズを介して基板上に投影露光して、上記パターンを上記基板上に転写する方法において、上記マスクはほぼ垂直上方から照明され、上記基板表面の同一位置に対する同一の上記パターンの露光が、上記投影レンズの瞳位置に配置された瞳フィルタの瞳関数を上記露光中に変えて行なわれ、上記瞳関数の少なくとも一つは、瞳中心に対して非軸対称な振幅透過率分布を有していることを特徴とするパターン形成方法。

【請求項2】上記瞳関数は、下記関係を満たす瞳関数 $A_1$ および瞳関数 $A_2$ を含むことを特徴とする請求項1に記載のパターン形成方法。

$$A_1(X, Y) = A_1(-X, Y) = A_1(X, -Y) = A_1(-X, -Y)$$

$$A_2(X, Y) = -A_2(-X, Y) = -A_2(X, -Y) = -A_2(-X, -Y)$$

ただし、 $X, Y$ は光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。

【請求項3】上記瞳関数 $A_1(X, Y)$ は瞳内全域で1であり、上記瞳関数 $A_2(X, Y)$ は上記投影レンズの瞳面内で1、0または-1のいずれかの値を取り、かつ $A_2(X, Y) = 0$ の領域は上記瞳面上で有効光源の像を含むほぼ十字型の領域であることを特徴とする請求項2に記載のパターン形成方法。

【請求項4】上記瞳関数は、下記関係を満たす瞳関数 $B_1$ および瞳関数 $B_2$ を含むことを特徴とする請求項1に記載のパターン形成方法。

$$B_1(X, Y) = B_1(Y, X) = B_1(-Y, -X)$$

$$B_2(X, Y) = B_1(-Y, X)$$

ただし、 $X, Y$ は、光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。

【請求項5】上記瞳関数 $B_1(X, Y)$ は上記瞳面内で1、0、5または0のいずれかの値を取り、かつ $B_1(X, Y) = 0.5$ の領域は瞳面上で有効光源の像を含む領域であることを特徴とする請求項4に記載のパターン形成方法。

【請求項6】上記瞳関数 $B_1(X, Y)$ は瞳内で1または0の値を取り、かつ $B_1(X, Y) = 0$ の領域は瞳中心に対して対称に配置されていることを特徴とする請求項5に記載のパターン形成方法。

【請求項7】上記瞳関数は、下記関係を満たす瞳関数 $C_1$ 、 $C_2$ および $C_3$ を含むことを特徴とする請求項1に記載のパターン形成方法。

$$C_1(X, Y) = C_1(-X, Y) = C_1(X, -Y) = C_1(-X, -Y)$$

$$C_2(X, Y) = -C_2(-X, Y) = C_2(X, -Y)$$

$$C_3(X, Y) = C_2(-Y, X)$$

ただし、 $X, Y$ は、光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。

【請求項8】上記瞳関数 $C_1(X, Y)$ は上記瞳内の全域で1であり、上記瞳関数 $C_2(X, Y)$ は上記瞳内で1、0または-1のいずれかの値を取り、かつ $C_2(X, Y) = 0$ の領域は瞳面上で有効光源の像を含むストライプ状の領域であることを特徴とする請求項7記載のパターン形成方法。

【請求項9】上記瞳関数は、下記関係を満たす瞳関数 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ および $D_4$ を含むことを特徴とする請求項1に記載のパターン形成方法。

$$D_1(X, Y) = D_1(Y, X)$$

$$D_2(X, Y) = D_1(-Y, X)$$

$$D_3(X, Y) = D_1(-X, -Y)$$

$$D_4(X, Y) = D_1(Y, -X)$$

ただし、 $X, Y$ は、光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。

【請求項10】上記瞳関数 $D_1(X, Y)$ は瞳内で1、0、5または0のいずれかの値を取り、かつ $D_1(X, Y) = 0.5$ の領域は瞳面上で有効光源の像を含む領域であることを特徴とする請求項9記載のパターン形成方法。

【請求項11】上記露光は、上記瞳関数に応じて照度分布が異なる有効光源を用いて行なわれることを特徴とする請求項1から10のいずれかに記載のパターン形成方法。

【請求項12】上記瞳関数は、上記光に対して不透明な膜、上記光を部分的に吸収する膜および上記光の位相を変化させる膜からなる群から選択された膜が、透明基板上に部分的に設けられた瞳フィルタを、上記投影レンズのほぼ瞳面に設けることによって設定されることを特徴とする請求項1から11のいずれかに記載のパターン形成方法。

【請求項13】上記投影露光は、互いに異なる振幅透過率分布を有する上記瞳フィルタを、上記基板表面の同一位置に対して行われる複数回または一回の露光中に交換して行なわれることを特徴とする請求項1から12のいずれかに記載のパターン形成方法。

【請求項14】上記投影露光は、一つの振幅透過率分布を有する上記瞳フィルタを、上記基板表面の同一位置に対して行われる複数回または一回の露光中に回転させて行なうことを特徴とする請求項1から12のいずれかに記載のパターン形成方法。

【請求項15】上記異なる瞳関数は、透明基板上に、上記光に対して不透明な膜、上記光を部分的に吸収する膜および上記光の位相を変化させる膜からなる群から選択された膜を部分的に設けて形成されたフィルタと、上記光に対して不透明なステンシルマスクを、上記投影レンズのほぼ瞳面に設けることにより設定されることを特徴とする請求項1から11のいずれかに記載のパターン形成方法。

【請求項16】上記投影露光は、上記ステンシルマスク

を、上記基板表面の同一位置に対する複数回または一回の露光中に回転させて行なうことを特徴とする請求項15記載のパターン形成方法。

【請求項17】上記投影レンズのほぼ瞳面には、上記光に対して複屈折性を有する基板の上に、上記光に対して不透明な膜、上記光を部分的に吸収する膜および上記光の位相を変化させる膜からなる群から選ばれた膜が部分的に設けられたフィルタが形成されており、上記投影露光は、上記基板表面の同一位置に対する複数回または一回の露光中に、上記光の偏光方向を回転させて行なうことを特徴とする請求項1から11のいずれか一に記載のパターン形成方法。

【請求項18】光源と、マスクを搭載するためのマスクステージと、上記光源から発した光を上記マスク上に照射する照明光学系と、基板を搭載するための基板ステージと、上記マスクを通過した光を上記基板に投影露光するための投影光学系と、上記投影光学系のほぼ瞳傍に配置された瞳フィルタまたはステンスルフィルタと、上記基板の表面の同一位置に対する複数回または一回の露光中に上記瞳フィルタまたはステンスルフィルタを交換または回転させる手段を具備することを特徴とする投影露光装置。

【請求項19】マスクに形成された所定のパターンを投影レンズを介して半導体基板の主平面上に投影露光して、上記パターンを上記半導体基板の主平面上に転写する方法において、上記マスクをほぼ垂直上方から照明し、同一の上記パターンの上記基板表面の同一位置に対する露光が、互いに異なる複数の瞳開数を有する瞳フィルタを上記投影レンズの瞳位置に配置して行なわれることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項20】上記マスクパターンは、MOSLSIのゲートパターンであることを特徴とする請求項19記載の半導体装置の製造方法。

【請求項21】上記マスクパターンは、MOSLSIのコンタクトホールまたはスルーホールパターンであることを特徴とする請求項19記載の半導体装置の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はパターン形成方法、投影露光装置および半導体装置の製造方法に関し、詳しくは、各種固体素子の微細パターンを形成するのに好適なパターン形成方法、このパターン形成方法に使用される投影露光装置および上記パターン形成方法による半導体装置の製造方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】周知のように、近年における半導体集積回路の高集積化は、主に各種回路パターンを微細化することによって達成されてきた。これらの回路パターンの形成は、現在、主として縮小投影露光装置を用いた光リ

ソグラフィによって行なわれている。縮小投影露光装置の構成の概略を図1に示す。マスク14は、照明光学系11から発する光によって照明され、上記マスク14が有するパターンは、投影光学系15を介して、被露光基板であるウェーハ19上に塗布されたホトレジスト膜に投影される。図1から明らかなように、照明光学系11は、光源10、コンデンサレンズ12および有効光源の形状を規定する絞リ13から構成され、投影光学系15は、投影レンズ16、瞳フィルタ17およびこの投影レンズ16の瞳面に配置され、レンズの開口数(NA)を定める開口絞リ18から構成されている。

【0003】投影光学系が転写できるパターンの最小寸法Rは、一般に露光に用いられた光の波長 $\lambda$ に比例して、上記投影光学系の開口数(NA)に反比例するので、 $R = k_1 \lambda / NA$ と表される。ここで $k_1$ はプロセス条件等で決められる定数であり、 $k_1 = 0.61$ はレーリーの解像限界と呼ばれる。

【0004】上記式から明らかなように、解像力(最小寸法R)を向上させるためには、波長 $\lambda$ を短くすることおよび開口数NAを大きくすることが有効であり、従来、露光光の短波長化や、投影レンズの高NA化によって解像力の向上が行われてきた。しかし、最近は光学材料の制約からArFエキシマレーザ(波長193nm)以下の短波長化は困難であり、光学系高NA化も限界に達している。そのため、集積回路の回路パターン寸法は、投影露光装置の解像限界ぎりぎりのところで設計されるようになってきている。

【0005】一般に、パターン寸法が上記レーリーの解像限界に近づくと、投影像がマスクパターン形状に忠実でなくなり、部分的にひずむという問題が現れてくる。この現象は光学的近接効果として知られ、パターン角部の丸み、パターン端部での長手方向の縮みあるいはパターン線幅の変化といった現象として現れてくる。この問題を解決するため、上記光学的近接効果を補正して投影像の形状が所望の形になるように、マスクパターンの形状を予め変形させておくアルゴリズムが提案されている。この近接効果補正については、例えば、マイクロプロセス95、ダイジェスト・オブ・ペーパー第138頁以降(MicroProcess'95, Digest of paper, p.138)における論文に示されている。

【0006】一方、与えられて光学系に対して、光学的にその結像特性を改良することによって、解像限界を向上させる試み(上記 $k_1$ の値を小さくする試み:像改良法)も行われてきた。位相シフトマスクの採用はその代表例である。位相シフトマスクは、従来のマスクの透過部の1個おきに位相差を与えるものであり、その技術の例は、アイ・イー・イー・イー、トランザクション・オン・エレクトロニクス29(1982年)第1282頁以降(IEEE, Trans. on Electron Devices, Vol. ED-29, No.12(1982) P. 1282)におけるマーク・ディー

・レベンソン等による論文に示されている。

【0007】また、ロジックLSIのゲートパターン等において要求される微細な孤立遮光線パターンの転写に適した位相シフト法のひとつとして、シフトエッジ露光法が知られている。この方法に用いられるマスクは、180度の位相差を与える透明膜を透明領域内に設け、その輪郭線に沿って明領域の中に極めて細い線状の暗部を形成することができる。シフトエッジ露光法については、例えば、プロシーディング・オブ・エスピーアイイー1496(1990年)第27頁以降(Proc. SPIE 1496, p.27)に論じられている。

【0008】上記位相シフト法以外の像改良法としては、斜方照明法と瞳フィルタ法が知られている。斜方照明法は、照明光学系11内に配置される絞り13の透過率を、中央部より周辺部が大きくなるように設定し、マスク14を照明する光の入射角を大きくする方法であり、特に周期パターンの解像度と焦点深度の向上に効果がある。瞳フィルタ法は、投影レンズの瞳位置に配置された、透過光の強度や位相を局所的に変えるフィルタ(瞳フィルタ)を介して露光を行う方法であり、特に孤立パターンの焦点深度を飛躍的に大きくすることができる。上記斜方照明法は、例えば、プロシーディング・オブ・エスピーアイイー1674(1992年)第741頁以降(Proc. SPIE 1674, p.741)に論じられている。また、瞳フィルタ法は、例えばジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス32(1993年)第5845頁以降(Jpn. J. Appl. Phys. 32, p.5845)に論じられている。さらに、斜方照明法と瞳フィルタ法を組み合わせることにより、周期パターンの解像度を一層向上させることが、プロシーディング・オブ・エスピーアイイー2197(1994年)第854頁以降(Proc. SPIE 12197 p.854)、および、ヨーロッパ特許EPA, No.95105002,7に示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記近接効果補正を実際の回路パターンの形成に適用しようすると、複雑かつ莫大な量の回路パターンに対して膨大な計算処理時間を要し、また、多くの微細な補正パターンを必要とするので、マスク作成のための描画データが極度に増加してしまう。さらに、発明者らの検討によれば、パターン角部の丸まり等はこの方法で本質的に解決不可能であることが明らかになった。

【0010】一方、上記位相シフト法は、シフトの輪郭線に沿ったすべての遮光線が形成されるので、所望の線パターンのみを形成するためには、異なるマスクを用いて2度露光しなければならない、実用上煩雑である。また、斜方照明法と瞳フィルタ法を組み合わせる像改良法については、OriiらやSandstromにより提案されているが、Oriiらの方法では、結像特性が非対称であって正確に転写されるパターンが限られてしまう。一方、Sandst

romの方法は、像のコントラストが低いばかりでなく、瞳を露光中に連続的に回転させる必要があり、煩雑である。

【0011】本発明の第1の目的は、上記従来の技術が有する問題を解決し、複雑なマスク補正を行なうことなしに、回路設計パターンと同じパターンを有する従来のマスクを用いても、設計パターンの形状に極めて近い投影像あるいはレジストパターンを形成することができ、パターン角部の丸みおよび線の縮みなどに関しても、パターン形状の忠実性を向上させることができる、新規なパターン形成方法およびこのようなパターン形成方法に使用される投影露光装置を提供することである。

【0012】本発明の他の目的は、複雑な位相シフトマスクや、2枚以上の異なるマスクによる多重露光を用いることなしに、極めて微細なパターンを高い精度で形成することができる、新規なパターン形成方法およびこのようなパターン形成方法に使用される投影露光装置を提供することである。

【0013】本発明のさらに他の目的は、工程数を増加させることなしに各種パターンを高い精度に形成することができる半導体装置の製造方法を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記課題を課題を解決するため、本発明はマスクに形成された所定のパターンを投影レンズを介して基板上に投影露光して、上記パターンを上記基板上に転写する方法において、上記マスクをほぼ垂直上方から照明し、上記基板表面の同一位置に対する同一の上記パターンの露光は、上記投影レンズの瞳位置に配置された瞳フィルタの瞳関数を上記露光中に変えて行なわれ、上記瞳関数の少なくとも一つは、瞳中心に対して非軸対称な振幅透過率分布を有していることを特徴としている。

【0015】上記瞳関数が下記関係を満たす瞳関数 $A_1$ および瞳関数 $A_2$ を含むことによって好ましい結果が得られる。

$$\begin{aligned} \text{【0016】 } A_1(X, Y) &= A_1(-X, Y) = A_1(X, -Y) = A_1(-X, -Y) \\ A_2(X, Y) &= -A_2(-X, Y) = -A_2(X, -Y) = -A_2(-X, -Y) \end{aligned}$$

(ただし、X、Yは光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。)

上記瞳関数 $A_1(X, Y)$ は瞳内全域で1であり、上記瞳関数 $A_2(X, Y)$ は上記投影レンズの瞳面内で1、0または-1のいずれかの値を取り、かつ $A_2(X, Y) = 0$ の領域は上記瞳面上で有効光源の像を含むほぼ十字型の領域であることによって好ましい結果が得られる。

【0017】上記瞳関数が、下記関係を満たす瞳関数 $B_1$ および瞳関数 $B_2$ を含むことによって好ましい結果

が得られる。

【0018】

$$B_1(X, Y) = B_1(Y, X) = B_1(-Y, -X)$$

$$B_2(X, Y) = B_1(-Y, X)$$

(ただし、X、Yは、光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。)

上記瞳関数 $B_1(X, Y)$ は上記瞳面で1、0.5または0のいずれかの値を取り、かつ $B_1(X, Y) = 0.5$ の領域は瞳面上で有効光源の像を含む領域であることによって好ましい結果が得られる。

【0019】上記瞳関数 $B_1(X, Y)$ は瞳内で1または0の値を取り、かつ $B_1(X, Y) = 0$ の領域は瞳中心に対して対称に配置されていることによって好ましい結果が得られる。

【0020】上記瞳関数が下記関係を満たす瞳関数 $C_1$ 、 $C_2$ および $C_3$ を含むことによって好ましい結果が得られる。

$$C_1(X, Y) = C_1(-X, Y) = C_1(X, -Y) = C_1(-X, -Y)$$

$$C_2(X, Y) = -C_2(-X, Y) = C_2(X, -Y)$$

$$C_3(X, Y) = C_2(-Y, X)$$

(ただし、X、Yは、光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。)

上記瞳関数 $C_1(X, Y)$ は上記瞳内の全域で1であり、上記瞳関数 $C_2(X, Y)$ は上記瞳面で1、0または-1のいずれかの値を取り、かつ $C_2(X, Y) = 0$ の領域は上記瞳面上で有効光源の像を含むストライプ状の領域であることによって好ましい結果が得られる。

【0021】上記瞳関数が下記関係を満たす瞳関数 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ および $D_4$ を含むことによって好ましい結果が得られる。

$$D_1(X, Y) = D_1(Y, X)$$

$$D_2(X, Y) = D_1(-Y, X)$$

$$D_3(X, Y) = D_1(-X, -Y)$$

$$D_4(X, Y) = D_1(Y, -X)$$

(ただし、X、Yは、光軸を中心とする瞳面上の直交座標を示す。)

上記瞳関数 $D_1(X, Y)$ は瞳内で1、0.5または0のいずれかの値を取り、かつ $D_1(X, Y) = 0.5$ の領域は瞳面上で有効光源の像を含む領域であることによって好ましい結果が得られる。

【0022】上記露光を上記瞳関数に応じて照度分布が異なる有効光源を用いて行なうことができる。

【0023】上記瞳関数は、上記光に対して不透明な膜、上記光を部分的に吸収する膜および上記光の位相を変化させる膜からなる群から選択された膜が、透明基板上に部分的に設けられた瞳フィルタを、上記投影レンズのほぼ瞳面に設けることによって設定することができる。

【0024】上記投影露光は、互いに異なる振幅透過率

分布を有する上記瞳フィルタを、上記基板表面の同一位置に対して行われる複数回または一回の露光中に交換することによって行なうことができる。

【0025】上記投影露光は、一つの振幅透過率分布を有する上記瞳フィルタを、上記基板表面の同一位置に対して行われる複数回または一回の露光中に回転させて行なうことができる。

【0026】上記異なる瞳関数は、透明基板上に、上記光に対して不透明な膜、上記光を部分的に吸収する膜および上記光の位相を変化させる膜からなる群から選択された膜を部分的に設けて形成されたフィルタと、上記光に対して不透明なステンシルマスクを、上記投影レンズのほぼ瞳面に設けることによって設定することができる。

【0027】上記投影露光は、上記ステンシルマスクを、上記基板表面の同一位置に対する複数回または一回の露光中に、回転させずことによって行なうことができる。

【0028】上記投影レンズのほぼ瞳面には、上記光に対して複屈折性を有する基板上に、上記光に対して不透明な膜、上記光を部分的に吸収する膜および上記光の位相を変化させる膜からなる群から選ばれた膜が部分的に設けられたフィルタが形成されており、上記投影露光は、上記基板表面の同一位置に対する複数回または一回の露光中に、上記光の偏光方向を回転させて行なうことができる。

【0029】また、光源と、マスクを搭載するためのマスクステージと、上記光源から発した光を上記マスク上に照射する照明光学系と、基板を搭載するための基板ステージと、上記マスクを通過した光を上記基板に投影露光するための投影光学系と、上記投影光学系のほぼ瞳近傍に配置された瞳フィルタまたはステンシルフィルタと、上記基板の表面の同一位置に対する複数回または一回の露光中に上記瞳フィルタまたはステンシルフィルタを交換または回転させる手段を具備することを特徴とする投影露光装置によっても、上記目的は達成される。

【0030】さらに、マスクに形成された所定のパターンを投影レンズを介して半導体基板の主平面上に投影露光して、上記パターンを上記半導体基板の主平面上に転写する方法において、上記マスクをほぼ垂直上方から照明し、同一の上記パターンの上記基板表面の同一位置に対する露光が、互いに異なる複数の瞳関数を有する瞳フィルタを上記投影レンズの瞳位置に配置して行なうことによって、半導体装置を製造することができる。

【0031】この際、上記マスクパターンを、MOSLSIのゲートパターンまたはMOSLSIのコンタクトホール、若しくはスルーホールパターンとすることができ、いずれも好ましい結果が得られる。

【0032】図面を用いて本発明を説明する。上記瞳関数の例として4種類の異なる瞳関数A、B、C、Dを図

2に示した。図2(a)は4重対称瞳関数Aを示し透過部20の全面に正の透過率を有している。図2(b)に示した瞳関数Bは、光透過部分のうち、左上と右下の領域21は正の透過率を有し、右上と左下の領域22は負の透過率を有している。直交する中央部分23は完全な遮光部であり、その幅は瞳面に投影される有効光源の像の直径に対応する。この瞳関数Bは、投影レンズの瞳面の中心を原点とするXY座標系において、XY軸を45度および-45度回転した軸に対して対称で、90度回転した軸に対しては反対称である。

【0033】図2(c)に示した瞳関数Cでは、光透過部分の上半分の領域24は正の透過率を有し、下半分の領域25は負の透過率を有している。中央線状部分26は完全な遮光部であり、その幅は瞳面に投影される有効光源の像の直径以上の大きさを有している。瞳関数は、縦方向の軸(Y軸)に対して対称で、横方向の軸(X軸)に対して反対称である。図2(d)に示した瞳関数Dは、上記瞳関数Cを上記瞳中心に90度回転させたものである。

【0034】図2(a)～(d)に示した瞳関数A～Dを用いて得られる点像の振幅分布を図3(a)～(d)に示した。点像の振幅分布は、瞳関数の2次元フーリエ変換で与えられるので、瞳関数と同様の対称性を有している。瞳関数Aに関する点像の振幅分布は、図3(a)に示したように、小さなサイドローブを無視すると、暗部の領域31の中に、明るいスポット状の分布30が形成され、均一の位相を有する。

【0035】上記瞳関数Bに関する点像の振幅分布は、図3(b)に示したように、直交する2軸(XY軸)に沿った暗線部で分割された4個のピーク32、33が現れる。図3(b)において、左上と右下に生じたピーク32は、右上と左下に生じたピーク33とは逆位相になっている。

【0036】上記瞳関数Dに関する点像の振幅分布は、図3(c)に示したように、暗線部31の横方向の部分によって上下に分割された2個のピーク34、35が現れる。図3(c)において、上側のピーク34と下側のピーク35とは逆位相になっている。

【0037】上記瞳関数に関する点像の振幅分布は、図3(d)に示したように、上記図3(c)に示した分布を上記瞳中心に90度回転させたものと同一であり、暗線部31の水縦方向の部分によって左右に分割された2個のピーク34、35が現れる。図3(d)において、左側のピーク34と右側のピーク35とは逆位相になっている。

【0038】したがって、上記瞳関数A、B、CおよびDを適宜組合わせて使用することによって、微細な各種マスクパターンを高い精度で結像させることができる。

【0039】まず、上記瞳関数AおよびBを組合わせて使用し、図4(a)に示した、遮光領域41内に横方向

に長い開口部が形成されたパターンを結像させる場合を説明する。

【0040】図4(a)に示したパターンに対して、透過部20の全面が正の透過率を有する上記瞳関数Aを用いると、定性的に図4(b)に示した投影像が得られる。この投影像は、暗い領域43の中に明るい線状の像42が形成されている像であるが、上記像42の幅が投影光学系の解像限界に近い寸法になると、マスクパターンの輪郭44と比べて、得られた上記像42は長手方向に縮み、角部は丸くなってしまう。

【0041】一方、瞳関数Bを用いると、定性的に図4(c)に示す投影像が得られる。この場合は、遮光部43の十字形状の部分が瞳面上に存在するので、中心部を透過すべき光およびパターンの辺で回折された光は瞳面を通過せず、パターンの角部で回折された光のみが瞳を通過し、像面に到達する。しかし、図3(b)に示したように、瞳関数Bの場合は点像の振幅分布が反対称性であるため、右上と左下に生じた光のスポット45aは、左上と右下に生じた光のスポット45bとは逆位相になっている。そのため、隣接する角部に対しては、暗い領域によって互いに分離されたスポット状の像が得られる。

【0042】したがって、瞳関数Aを用いた露光に瞳関数Bを用いた露光を加えると、図4(d)に示したように、角部が強調された像を得ることができる。縦方向に長い線パターンや正方形パターンについても同様の効果が得られる。上記説明は開口部の角が凸部であり、角の部分が強調される場合を示したが、開口部の角が凹部である場合も、像が劣化されることはなく、線パターン像の縮みが生ずることもない。すなわち、結像すべきパターンが開口パターンであれば、開口パターンの形状とは無関係に本発明をすべて適用できる。

【0043】次に、上記瞳関数A、CおよびDを用いて、図5(a)に示したマスクパターンの結像を行なうことを説明する。図5(a)に示したマスクパターンは、図4(a)に示したマスクパターンとは逆に、光透過部51中に遮光パターン50が形成されている。瞳関数Aを用いて露光を行なうと、図5(b)に示したように、明るい領域53の中に暗い像52が形成された投影像が得られる。この像52は、線幅が投影光学系の解像限界に近い寸法で、かつ投影像の幅が、破線で示したマスク設計寸法54と同じになるように露光量を調整して形成されているので、上記像52の両端部に縮みが生じ、角部は丸くなってしまう。像52の長さがマスク設計寸法54と等しくなるように露光を行なうと、幅が設計寸法54より大きい像55が形成されてしまうので、幅と長さがいずれも設計寸法に等しく、かつ、角部に丸みが生じないパターンを形成するのは困難である。

【0044】しかし、線幅を保ったまま長さを長くする代わりに、長さを保ったまま線幅を小さくすることがで



されば、像端部における縮みの発生を防止できることは明らかである。

【0045】すなわち、瞳関数Cを用いて露光を行なうと、図5(c)に示したように、横方向のエッジに沿って細長い光の明線56a、56bが形成される。これは、図2(c)に示したように、瞳関数Cの瞳面内にはストライプ状の遮光部26が存在するので、パターンの明るいバックグランド成分およびパターンの縦方向の辺で回折された光は瞳を通過せず、横方向の辺とパターン角部とで回折された光だけが像面に到達するためであり、バックグランド57は暗くなる。

【0046】瞳関数Cによって得られた像は、図3(c)に示した反対称性を有しているため、図5(c)に示した上側の上記明線(エッジ像)56aと下側の上記明線(エッジ像)像56bとは逆位相になり、これら明線56a、56bは互いに分離される。

【0047】したがって、瞳関数Cを用いた露光を瞳関数Aを用いた露光に加えることにより、長手方向の長さを保ったまま線幅を小さくすることができる。

【0048】ところで、縦方向に長い線パターンに対しても同様の効果を得るためには、瞳関数Cを90度回転した瞳関数Dによる露光も行なわなければならない。この場合、瞳関数Dによる投影像は、図5(d)に示すように線パターンの縦方向エッジに沿った明線となるので、これに加わることにより長手方向の長さが短くなってしまう可能性が考えられる。

【0049】しかし、線幅が投影光学系の解像限界に近い寸法である横長の線状パターンを形成する場合は、縦方向のエッジの長さは極めて短いので、図5(d)に示す投影像の最大光強度は図5(c)の場合と比べて極めて小さい。したがって、瞳関数Cと瞳関数Dを用いる露光を等しい露光量行ない、これを瞳関数Aで得られる像に加えると、線状の像の端部の縮みは極度に減少されるときともに、線状の像の幅を小さくすることができ、したがって、図5(e)に示したように、長さや幅がマスクパターンの輪郭54の長さや幅に一致した合成像59を得ることができる。縦方向に長い遮光パターンに対しても同様であることはいうまでもない。

【0050】光透過部内にL字型の遮光パターンが存在する場合は、瞳関数Cおよび瞳関数Dを用いて得られる像を、瞳関数Aで得られる像に加えて合成像を形成すると、L字型パターンの内側の角部の方が外側の凸部の角部より光強度が大きくなるので、この場合もパターン形状の忠実性が良好な合成像が得られる。

【0051】瞳関数A、CおよびDを用いて得られた像を合成することによって、上記光学的近接効果が緩和されるばかりでなく、透光部中の遮光パターンの解像度を大幅に向上させることが可能である。例えば、遮光パターンの面に沿って得られる光強度分布を考えると、瞳関数Aで得られる光強度分布は図15に示す曲線150の

ようになり、パターン幅より太い暗線部が形成される。一方、瞳関数Cで得られる分布は、図15に示す曲線151のようにエッジ部のみの明線部からなる。この場合、瞳関数Dで得られる分布152は寄与しない。したがって、光強度分布150、151および152とを重ね合わせることによって、より忠実な光強度分布153が得られる。

【0052】この場合、最も小さい線幅を得るために、瞳関数CおよびDを用いる時の露光量を、瞳関数Aを用いる時の露光量よりも多くすることが望ましい。ただし、この方法はかなりのサイドローブが生じるので、隣合うパターン間の干渉が生じない範囲に、遮光パターン間の間隔を広くとることが望ましい。微細な線パターンが要求されるロジックLSIの多くは、この条件が満足されているので、きわめて好ましい結果が得られる。

【0053】

【発明の実施の形態】瞳関数がそれぞれ異なる多重露光を実現する方法を説明する。このような多重露光を行なうための最も直接的な方法は、瞳関数がそれぞれ異なる複数の瞳フィルタを用意して、各露光ごとに上記瞳フィルタを交換する方法であるが、下記のように、異なる瞳フィルタを交換することなしに、瞳関数が互いに異なる多重露光と等価な効果を達成することができる。

【0054】すなわち、互いに異なる瞳関数 $A_A$ と $\alpha A_B$ を用いて行なわれる多重露光は、瞳関数 $A_1 = (A_A + \alpha A_B) / \sqrt{2}$ と瞳関数 $A_2 = (A_A - \alpha A_B) / \sqrt{2}$ とを用いる多重露光と等価である。図6(a)は瞳関数 $A_1$ の一例を示す図であり、符号60は透過率が1である領域、61は遮光領域、62は透過率が0.5である十字型領域を、それぞれ表す。上記 $\alpha$ は2種類の露光の重みを表す値である。

【0055】上記瞳関数 $A_A$ と $A_B$ がそれぞれ図2に示す瞳関数Aおよび瞳関数Bと同じ対称性を有する場合は、上記瞳関数 $A_1$ と瞳関数 $A_2$ は、互いに90度回転させると同一の関数となる。したがって、単一瞳のフィルタを露光中に回転させるだけで、二つの瞳関数A、Bを用いた2重露光と同等の効果が得られる。

【0056】瞳関数Aが完全透過(全面で透過率1)で、瞳関数Bが振幅透過率-1、0、1のみを有する場合は、 $\alpha = 1$ に対しては、瞳関数 $A_1$ 、 $A_2$ は0と0.5と1のみの透過率を有する。しかも、透過率が0.5である中央部の領域では、 $A_1$ と $A_2$ は共通である。

【0057】瞳フィルタを回転させた場合、瞳フィルタを交換した場合と同様の問題が生じる。しかし、後記のように、特定の条件下では、瞳フィルタ全体を回転させるのではなく、瞳フィルタと組み合わせられたステンシルマスクのみを回転させることによって、瞳関数全体を回転させたのと同様の効果が得られる。この場合は、瞳フィルタの交換や回転にともなう上記問題が発生する恐れはない。なお、上記ステンシルマスクは回転可能でもよ

く、フィルタ上に固定されていてもよい。

【0058】3種の瞳関数 $A_A$ 、 $\alpha A_C$ および $\alpha A_D$ を用いる露光は、瞳関数 $A_1 = (A_A + \alpha A_C + \alpha A_D)/2$ 、 $A_2 = (A_A + \alpha A_C - \alpha A_D)/2$ 、 $A_3 = (A_A - \alpha A_C + \alpha A_D)/2$ および $A_4 = (A_A - \alpha A_C - \alpha A_D)/2$ を用いる多重露光と等価である。

【0059】上記瞳関数 $A_A$ 、 $A_C$ 、 $A_D$ が図2に示した瞳関数 $A$ 、 $C$ 、 $D$ と同じ対称性を有し、かつ、 $A_D$ が $A_C$ を90度回転させた瞳関数である場合は、上記瞳関数 $A_1 \sim A_4$ は同一の瞳フィルタを90度ずつ回転して順次得られる。したがって、単一の瞳フィルタを露光中に回転させれば、3種の瞳関数 $A$ 、 $C$ 、 $D$ を用いた3重露光と同じ結果が得られる。

【0060】図6(b)に示した瞳関数 $A_1$ は、透過率が1の領域63、遮光領域64および透過率が0.5の正方形領域65から構成されている。瞳関数 $A$ が完全透過(全面で透過率1)で、瞳関数 $C$ 、 $D$ が透過率-1、0、1のみを有するときは、 $\alpha = 1$ に対しては、瞳関数 $A_1 \sim A_4$ の透過率は0、0.5、1のみである。しかも、瞳関数 $A_1 \sim A_4$ を有する瞳フィルタにおいては、透過率が0.5である領域はすべて共通である。

【0061】図6に示した瞳関数を有する瞳フィルタは、いずれも有効光源の像が生じる領域の透過率が減衰される構成となっている。このような瞳フィルタは、高次の回折光に対して0次回折光(回折しない光)の透過強度を弱め、共役フィルタとして知られているものと共通した作用を有している。

【0062】しかし、図6(b)に示した瞳関数では、瞳面の約半分が遮光部であるため、光の透過量が少なく、実用上あまり有効ではない。そのため、瞳フィルタ全体を有効光源と共に斜め方向にシフトさせれば、瞳フィルタをより有効に使用することが可能になる。すなわち、このようにすれば、投影レンズの瞳面内における使用可能な半径方向距離が大きくなり、より大きな回折角を有する回折光を通過させることができ、微細パターン像のコントラストが向上する。有効光源を斜め方向にシフトすることは、いわゆる1方向からの斜方照明法を用いることに他ならない。したがって、図6(b)に示した瞳関数を有効光源と共に斜め方向にシフトすると、共役フィルタと斜方照明法を組合せた効果が得られる。

#### 【0063】

##### 【実施例】

〈実施例1〉本実施例は図2(a)、(b)に示した瞳関数 $A$ 、 $B$ を用いて2重露光を行なった例である。まず、図7(a)、(b)に示したように、投影レンズの瞳位置に挿入するための2枚の瞳フィルタ $A'$ 、 $B'$ を準備した。

【0064】図7(a)に示した瞳フィルタ $A'$ は、透明基板70のみで構成されているので、これを挿入することによって、投影レンズは従来の円形開口、すなわち

瞳関数 $A$ の性能が達成される。

【0065】また、図7(b)に示す瞳フィルタ $B'$ は、透明基板71上に位相シフト膜72が設けられ、さらに遮光用のステンシル73がその上方に配置されている。ただし、図7(b)では、透明基板71とステンシル73との間の距離は、誇張して大きく示されている。

【0066】位相シフト膜72は、この位相シフト膜72を透過した光の位相を、位相シフト膜72が存在しない部分を透過した光に対して180度遅らせる作用を有しており、膜厚は $0.5\lambda/(n-1)$ とした。ここに、 $n$ は位相シフト膜72の屈折率であり、本実施例では、 $\text{SiO}_2$ の蒸着膜を用いたので $n$ の値は である。上記瞳フィルタ $A'$ 、 $B'$ を、縮小投影露光装置の投影レンズの瞳位置に搭載して、マスクパターンの転写を行なった。

【0067】本実施例において使用した縮小投影露光装置を図9に示した。光源90から発する光は、フライアイレンズ91、照明の干渉性を規定する円形絞92、コンデンサレンズ群93a、93b、93cを介してマスク94を照明する。マスク94に描かれたパターンは、投影レンズ95を介してウェーハ97上に投影される。マスク94はマスク位置制御手段104で制御されたマスクステージ103上に載置され、その中心と投影レンズ95の光軸とは正確に位置合わせされている。ホトレジストが塗布されたウェーハ97は、試料ステージ98a上に真空吸着されている。試料ステージ98aは、投影レンズ95の光軸方向すなわちZ方向に移動可能なZステージ98b上に載置され、さらにXY方向に移動可能なXYステージ98c上に搭載されている。Zステージ98bおよびXYステージ98cは、主制御系105からの制御命令に応じてそれぞれの駆動手段101a、101bによって駆動されるので、所望の露光位置に移動可能である。その位置はZステージ98bに固定されたミラー100の位置として、レーザ測長器99で正確にモニタされる。また、ウェーハ97の表面位置は、通常の露光装置が有する焦点位置検出手段で計測され、計測結果に応じてZステージ98bを駆動させることによって、ウェーハ97の表面は常に投影レンズ95の結像面と一致している。投影レンズ95の瞳位置には、瞳フィルタ駆動手段102によって各種瞳フィルタ96が選択されて挿入、交換、回転等が行なわれる。

【0068】露光のフローを図10に示す。正方形の微細ホールパターンを有する所定のマスクMを投影露光装置に載置した後、第1の工程110で、ボジ型ホトレジストを塗布したウェーハをウェーハステージ上に載置した後、第1の露光工程111で、瞳フィルタ $A'$ を用いてマスクMのパターン転写を行なう。

【0069】次に、瞳フィルタを交換する工程112によって、瞳フィルタ $A'$ を瞳フィルタ $B'$ に交換し、さらにステンシル73を挿入した。その後、第2の露光工

程113で、瞳フィルタB'を用いてマスクMのパターン転写を行なった。

【0070】最後に、瞳フィルタを交換する工程114によって、瞳フィルタB'を瞳フィルタA'に戻し、ステンシル73を排出する。ウェーハ搬送工程115にて、ウェーハステージを移動させ、次のウェーハを搭載した。この操作をすべてのウェーハ露光が終了するまで繰り返した。

【0071】上記のフローで瞳関数を変えた多重露光を行ない、現像処理した後、形成された微細ホールパターンを走査型電子顕微鏡で観察した。i線縮小投影露光装置を用いて辺の長さ0.4 $\mu$ mの正方形のホールパターンを転写した結果、図14(a)に示したように形状劣化の少ないほぼ正方形のレジストパターンが形成された。比較のため、瞳フィルタA'のみを用いて転写を行ったが、この場合は、マスクパターンは正方形であるにもかかわらず、レジストパターンは図14(b)に示すように円形となった。

【0072】本実施例では、1枚のウェーハごとに瞳フィルタを変えて露光を行ったが、準備されたすべてのウェーハに対して瞳フィルタA'を用いた露光を行なった後、次に瞳フィルタB'に取換えて、すべてのウェーハに対して露光を行なってもよい。露光装置は上記実施例に示した装置に限られることなく、異なる波長の光を発する光源を有するものでも良いし、また、マスクとウェーハを走査しながら露光を行なう装置を用いても同一の効果が得られる。

【0073】本実施例において示した方法は、下記実施例のすべてに用いることができる。また、特に遮光部中に形成された孤立開口パターンを転写する場合は、瞳フィルタB'からステンシル73を省略しても、解像度向上の効果が得られた。

【0074】〈実施例2〉本実施例は、複数の瞳フィルタを用いる際に、互いに位置合わせが要求される瞳フィルタの交換とは別に、偏光フィルタを用いる方法によってパターン転写を行なった。光源から発する光を偏光とし、偏光フィルタは一方方向の偏光に対して所定の透過率を有し、かつ他方向の偏光に対しては図7(b)に示した位相シフト膜72と同様の位相差を発生させる。この偏光フィルタは、複屈折性を有する基板とその上にパターンニングされた位相シフト層から製作した。この位相シフト層は、位相シフト層となる材料を基板全面に堆積した後、レジスト塗布、パターンニングおよびエッチングの工程を順次行うことによって形成しても良く、また、レジスト塗布、パターンニング、位相シフト層となる材料の堆積およびリフトオフの工程を順次行って形成しても良い。

【0075】この瞳フィルタを投影露光装置の投影レンズの瞳位置に挿入し、以下のようにして露光を行なった。まず、第1の偏光で、実施例1と同様のマスクMを

露光した。次に、照明光の偏光を90度回転させた後、瞳フィルタ駆動手段102によってステンシルを挿入し、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光した。最後に、照明光の偏光を-90度回転して戻し、ステンシルを排出した。以後、すべてのウェーハが露光処理されるまで上記の工程を繰り返した。

【0076】以上のように、偏光を発する光源を有する投影露光装置を用いて、ホトレジストが塗布されたウェーハ97上に上記多重露光を行ない、現像処理した後、形成された微細ホールパターンを走査型電子顕微鏡で観察した。その結果、実施例1と同様の効果が得られたことが確認された。

【0077】〈実施例3〉本実施例は図6(a)に示した瞳関数(上記瞳関数A<sub>1</sub>)を有する瞳フィルタとして、図7(c)に模式的に示した瞳フィルタC'を用いて露光を行なった例である。この瞳フィルタC'は、振幅透過率が0.5である膜75が十字型に形成された透明基板74と、遮光部であるステンシル76から構成されており、瞳関数は図6(a)に示した瞳関数に相当する。なお、フィルタ基板74とステンシル76との間の距離は、誇張して大きく図示されている。

【0078】本実施例では、透明基板74は固定され、ステンシル76のみを回転できるようにした。この瞳フィルタを投影レンズの瞳位置に挿入し、以下のフローで露光を行なった。

【0079】まず、第1の位置にステンシル76を配置し、上記瞳フィルタC<sub>1</sub>'(瞳関数A<sub>1</sub>)を用いてマスクMを露光した。次に、瞳駆動手段102によりステンシル76のみを90度回転させた。その後、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光する。最後に、ステンシル76を-90度回転して第1の位置に戻した。以後、すべてのウェーハが露光処理されるまで上記の工程を繰り返した。ホトレジストが塗布されたウェーハ97上に上記多重露光を行なって、現像処理して得られたレジストパターンを走査型電子顕微鏡の観察し、実施例1と同様の効果が得られることが確認された。

【0080】〈実施例4〉本実施例は、遮光領域の中に孤立した開口パターンが形成されているマスクを用いて、多重露光を行なった例であり、上記実施例3において使用された瞳フィルタの有する透過率が0.5である上記十字形の領域75を省略することができた。

【0081】すなわち、上記透明基板74および上記十字形の領域75は使用せず、ステンシル76のみを用いた。図7(c)から明らかなように、ステンシル76は、瞳面上の対向する四分円の領域に大半の遮光部を有している。このステンシル76からなるフィルタを投影露光装置の瞳位置に挿入し、下記フローで露光を行なった。

【0082】まず、第1の位置にステンシル76を配置(瞳関数A<sub>1</sub>)し、孤立した開口パターンが形成されて

いるマスクMを露光した。次に、瞳フィルタ駆動手段102によってステンシル76を90度回転させた。その後、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光した。最後に、ステンシル76を-90度回転して第1の位置に戻した。以後、すべてのウェーハが露光処理されるまで上記の工程を繰り返した。ホトレジストが塗布されたウェーハ97上に上記の多重露光を行ない、現像処理した結果、走査型電子顕微鏡の観察により実施例1と同様の効果が得られることが確認された。

【0083】〈実施例5〉本実施例は、図2に示した瞳関数A、C、Dによる3重露光を、図8に示す瞳フィルタを用いて行なった例である。3重露光を容易に行なうために、異なる瞳フィルタA”、B”を組み合わせて用いた。瞳フィルタA”は、図8(a)に示すように、透明基板80のみから構成され、瞳関数Aが全面透過の場合(図7(a))に相当する。図2に示した瞳関数C、Dは同一形状を互いに90度回転させたものであるから、回転する瞳フィルタB”によって瞳関数C、Dを実現した。この瞳フィルタB”は、図8(b)に示したように、透明基板81、位相シフト膜82および遮光用のステンシル83から構成した。これら瞳フィルタA”、B”を投影露光装置の投影レンズの瞳位置に挿入し、以下のフローで露光を行なった。

【0084】まず、透明なフィルタA”を用いて、一方に長いパターンを有するマスクMを露光する。次に、瞳フィルタ駆動手段102を用いて瞳フィルタA”を瞳フィルタB”(瞳関数C、Dに相当)と交換し、ステンシル83を挿入して同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光した(瞳関数C)。

【0085】ステンシル83を90度回転させ、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光した(瞳関数D)。最後に、瞳フィルタA”を基板に戻し、ステンシル83を排出した。以後、すべてのウェーハが露光処理されるまで上記工程を繰り返した。ホトレジストが塗布されたウェーハ97上に上記多重露光を行なって現像処理した結果、マスクパターン形状に忠実なレジストパターンを形成することができた。なお、横方向に長いパターンを露光する場合は、上記瞳関数A、Cによる露光のみでよく、上記瞳関数Dによる露光を省略することができた。同様に、縦方向に長いパターンを露光する場合も、瞳関数Cによる露光を省略しても同様の効果が得られた。

【0086】〈実施例6〉本実施例は、偏光を利用して瞳関数を変えて多重露光を行なった例である。本実施例では、偏光光源、および1方向の偏光に対しては所定の透過率で透過し、他の方向の偏光に対しては図8(b)に示す位相シフト層82のように位相差を生じさせる瞳フィルタを用いた。この瞳フィルタは実施例2に示した方法で形成した。この瞳フィルタを、偏光光源を有する投影露光装置の投影レンズの瞳位置に挿入し、以下のフ

ローで露光を行なった。

【0087】まず、1方向の偏光を用いて、実施例5と同様のマスクMを露光する(瞳関数A)。次に、偏光の方向を90度回転させて、ステンシルを挿入した後、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光する(瞳関数C)。

【0088】ステンシルを90度回転させ、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光する(瞳関数D)。最後に、偏光を-90度回転させてもとに戻し、ステンシルを排出する。以後、すべてのウェーハが露光処理されるまで上記の工程を繰り返した。ホトレジストが塗布されたウェーハ97上に上記多重露光を行なって、現像処理した結果、マスクパターンの形状に忠実なレジストパターンを形成することができた。

【0089】〈実施例7〉本実施例は、単一の瞳フィルタを、露光中に90度ずつ回転することによって瞳関数A、C、Dを順次実現し、パターンの転写を行なった例である。図8(c)に示す瞳関数C”は、図6(b)の瞳関数に相当する瞳フィルタで、透過率0.5の膜85が部分的に形成された透明基板84と遮光ステンシル86から構成されている。この瞳関数C”を、投影露光装置の投影レンズの瞳位置に挿入し、以下のフローで露光を行なった。

【0090】まず、所定位置に基板84とステンシル86を配置し、実施例5と同様にしてマスクMを露光した(瞳関数A<sub>1</sub>)。次に、ステンシル86を90度回転させた後、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光した(瞳関数A<sub>2</sub>)。

【0091】上記ステンシル86を90度回転させた後、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光する(瞳関数A<sub>3</sub>)。上記ステンシル86を90度回転させた後、同一のマスクパターンをウェーハ上の同一位置に露光した(瞳関数A<sub>4</sub>)。最後に、ステンシル86を90度回転させてもとの位置に戻した。以後、すべてのウェーハが露光処理されるまで上記の工程を繰り返した。ホトレジストが塗布されたウェーハ97上に上記多重露光を行ない、現像処理した結果、マスクパターン形状に忠実なレジストパターンを形成することができた。

【0092】〈実施例8〉上記実施例1~4に示した2重露光は、特に図11(a)に示したような遮光部121中に形成された孤立した開口パターン120の転写に適している。また、上記実施例5~7に示した多重露光は、特に図11(b)に示したような光透過部123内に配置された微細遮光線パターン122の転写に適している。

【0093】本実施例は、本発明を半導体集積回路装置の製造に適用した例であり、半導体集積回路装置の製造工程の一部を示す図12を用いて説明する。

【0094】まず、図12(a)に示したように、N

形シリコン基板130に、周知の方法を用いてP形ウェル層131、P形層132およびフィールド酸化膜133を形成し、その上に酸化膜125および多結晶シリコン膜126を形成した。さらに、ホトレジストの塗布、図13(a)に示したゲートパターン145を形成するためのマスクを用いた露光および現像処理を順次行なって、レジストパターン127-1、127-2を形成した。上記露光は、上記実施例5、6または7に示した方法において、瞳フィルタを変えて行なった。

【0095】上記レジストパターン127-1、127-2をマスクとして多結晶シリコン膜126および酸化シリコン膜125の露出された部分を順次ドライエッチングして、多結晶シリコン膜と酸化シリコン膜の積層膜134-1、134-2を形成した後、レジストパターン127-1、127-2を除去した。

【0096】次に、周知のイオン打ち込みを行なって、図12(b)に示したように、P形高濃度拡散層135およびN形高濃度拡散層136を形成した。

【0097】周知の方法を用いてリンガラス(PSG)膜137を全面に形成し、その上にホトレジスト膜138を周知の塗布法によって形成した後、上記実施例5、8、7に示したように、瞳フィルタをそれぞれ換えて露光を行なって、図12(c)に示したように、ホールパターン139を形成した。

【0098】次に、図12(d)に示したように、上記ホトレジスト膜138をマスクにして、上記リンガラス膜137の露出部分をドライエッチングし、コンタクトホール140を形成した。

【0099】W膜とTiN膜の積層膜からなる電極配線141および層間絶縁膜142を周知の方法を用いて順次形成した後、さらに、ホトレジストマスク(図示せず)を周知の方法によって形成し、実施例1に示した方法を用いた露光と通常のエッチングを行なって、図12(e)に示したように、ホールパターン143を形成した。このホールパターン143の中にWプラグを埋込み、Al膜からなる第2配線144を接続した。

【0100】以降の工程は従来方法を用いて行なった。図13(b)に、配線層M1と配線層M2とを連結するコンタクトホールパターン146のレイアウトの一例を示した。

【0101】なお、本実施例では主な製造工程のみを示したが、ゲートパターンとコンタクトホールパターンの転写に本発明の露光法を用いた以外は、従来法と同じ工程を用いた。その結果、ゲートパターンとコンタクトホールパターンの解像不良の発生を防止でき、半導体集積回路装置を高歩留まりで製造することができた。

【0102】

【発明の効果】本発明によれば、投影レンズの高NA化、露光に用いる光の短波長化あるいはマスクパターンの一部の変形等を行なうことなしに、パターン転写像の

輪郭の忠実性を向上させることができる。本発明では、露光中に瞳関数を変えるだけでよいから、実用上極めて容易である。特に、多くの半導体素子に共通な、縦と横の辺からなるパターンに対しては、瞳関数を最適化することによって、線像の縮みや角部の丸みといった像の劣化を防止できる。さらに、微細な遮光線パターンの結像性能も向上できるので、特に半導体装置製造工程の中で、高い解像度と形状の正確性が要求される、ゲートパターンやコンタクトホールパターンの形成において、解像不良の発生を防止でき、半導体集積回路装置を高い歩留まりで製造でき、実用上極めて有用である。

【図面の簡単な説明】

【図1】投影露光装置の基本的な構成を示す図、

【図2】本発明において用いられる基本的な瞳関数を示す図、

【図3】図2に示した瞳関数を用いて得られる点像の振幅分布を示す図、

【図4】本発明によって開口パターンを転写した場合の投影像を説明する図、

【図5】本発明によって遮光パターンを転写した場合の投影像を説明する図、

【図6】本発明の瞳関数を示す図、

【図7】本発明の瞳関数を実現するための瞳フィルタの構成を示す図、

【図8】本発明の他の瞳関数を実現するための瞳フィルタの構成を示す図、

【図9】本発明において用いられる縮小投影露光装置の構成を示す図、

【図10】本発明における露光工程のフローの一例を示す図、

【図11】マスクパターンの例を示す図、

【図12】本発明を半導体集積回路装置の製造に適用した例を示す工程図、

【図13】半導体集積回路装置を製造する際の、マスクパターンレイアウトを示す図、

【図14】形成されたレジストパターンの輪郭を示す図、

【図15】異なる瞳フィルタを用いる露光の重ね合わせの概念を示す図。

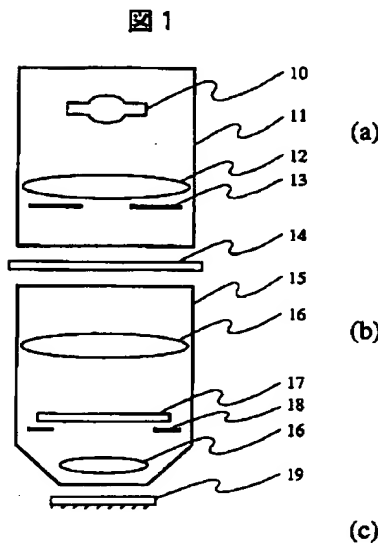
【符号の説明】

10…光源、 11…照明光学系、 12…コンデンサレンズ 13…絞り、 14…マスク、 15…投影光学系、 16…投影レンズ、 17…瞳フィルタ、 18…開口絞り、 19…被露光基板、 20…透過部、 23…遮光部、 30…スポット状の分布、 40…マスクの開口パターン、 41…遮光部、 42、46…投影像の輪郭、 50…マスクの遮光パターン、 52、55…投影像の輪郭、 60…透過率1の領域、 61…透過率0の領域、 62…透過率0.5の領域、 63…透過率1の領域、 64…透過率0の領域、 65

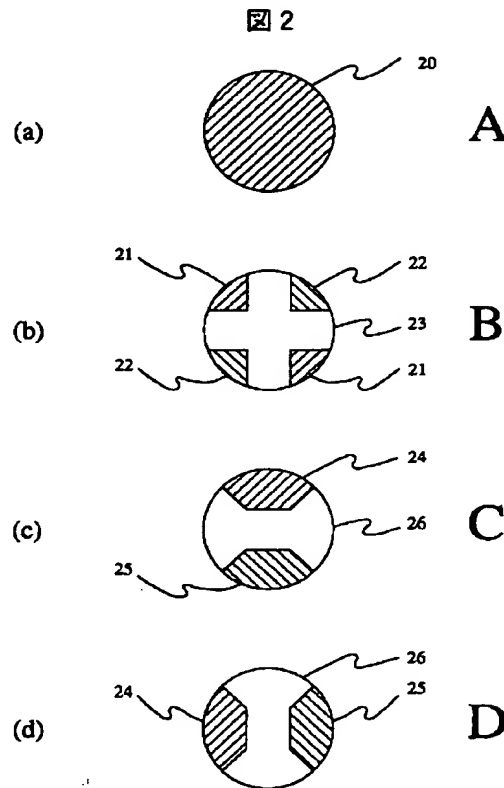
…透過率0.5の領域、70…透明基板、72…位相シフト膜、73…ステンシル、75…半透明膜、76…ステンシル、80…透明基板、82…位相シフト膜、83…ステンシル、85…半透明膜、86…ステンシル、90…照明光源、94…マスク、95…投影レンズ、96…瞳フィルタ、97…ウェーハ、98a, b, c…XYZステージ、99…

レーザ測長系、100…ミラー、105…投影露光装置の主制御系、120…コンタクトホールパターン、122…微細遮光線パターン、130…シリコン基板、133…フィールド酸化膜、134-1, 2…ゲートパターン、137…絶縁膜、138…フォトリソ、140…コンタクトホール、141…電極配線、144…第2配線。

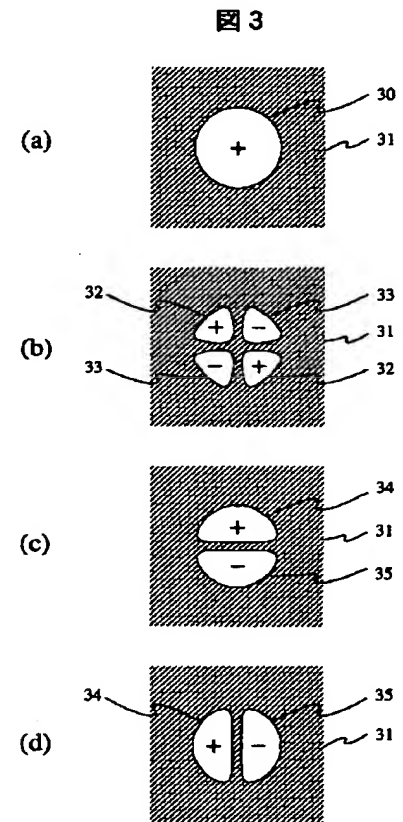
【図1】



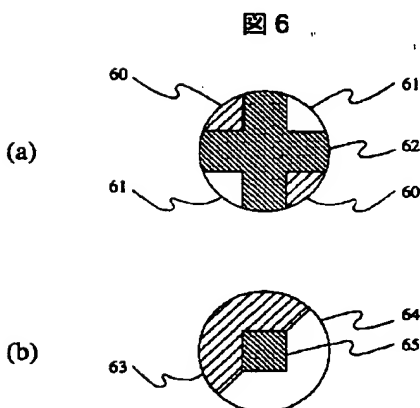
【図2】



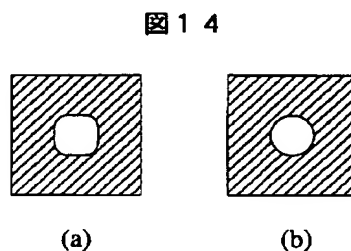
【図3】



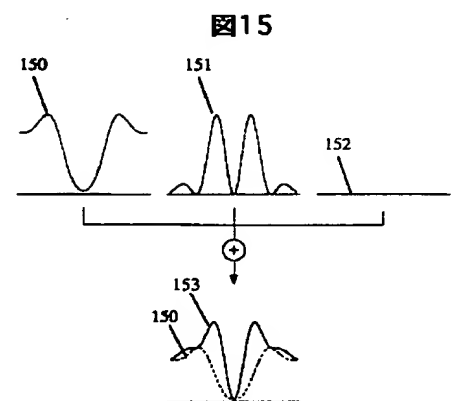
【図6】



【図14】

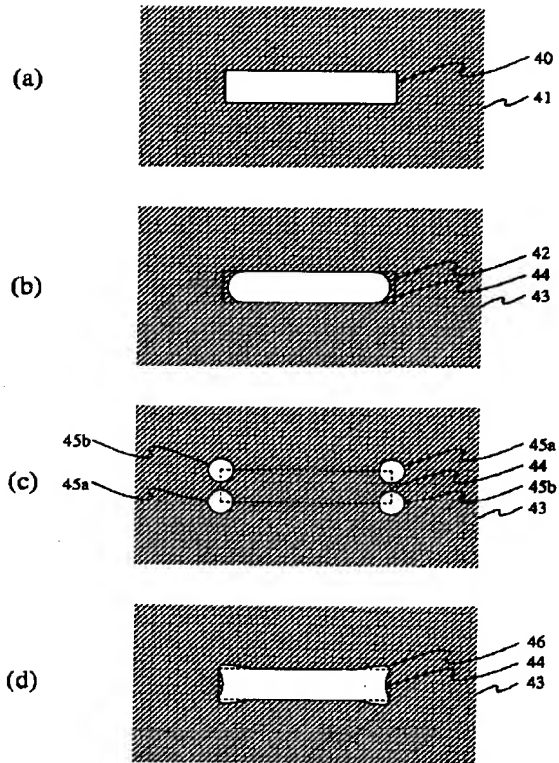


【図15】



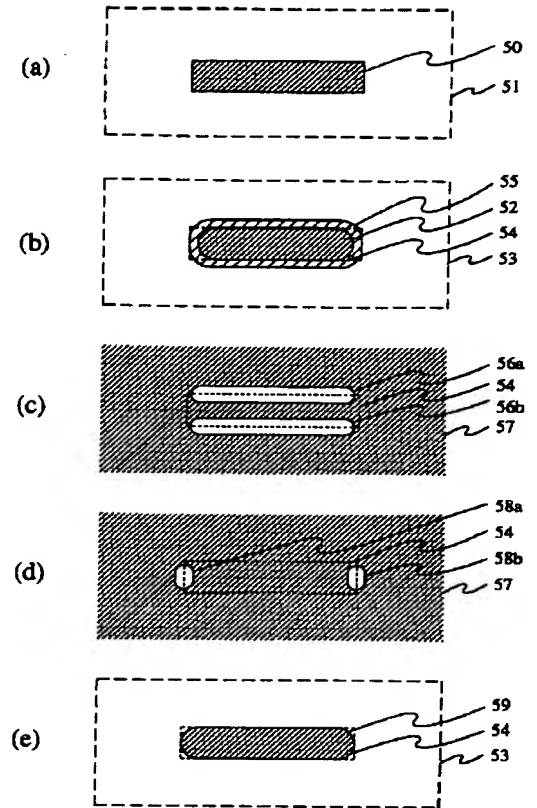
【図4】

図4



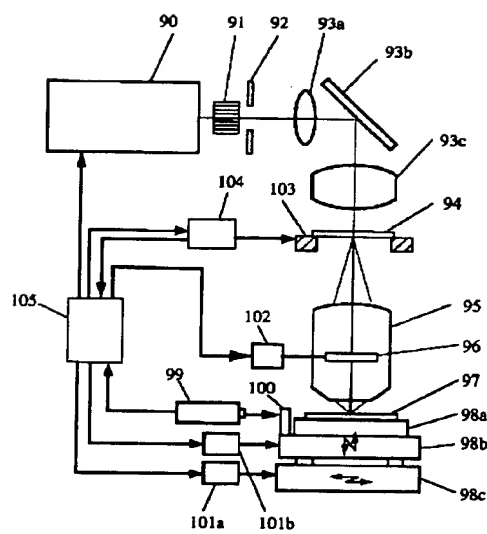
【図5】

図5



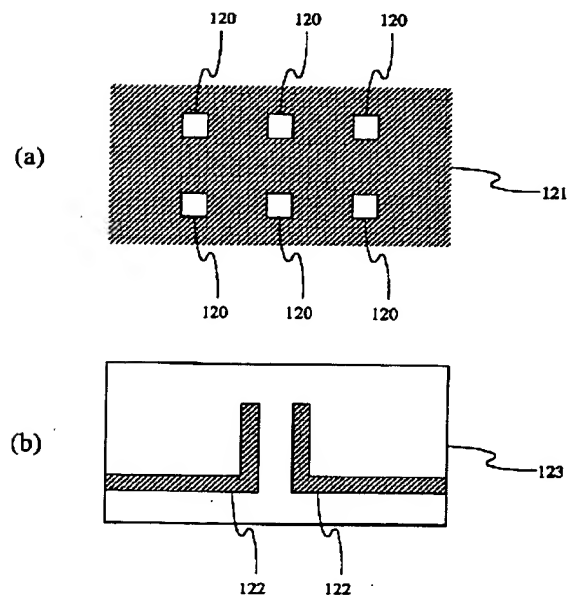
【図9】

図9



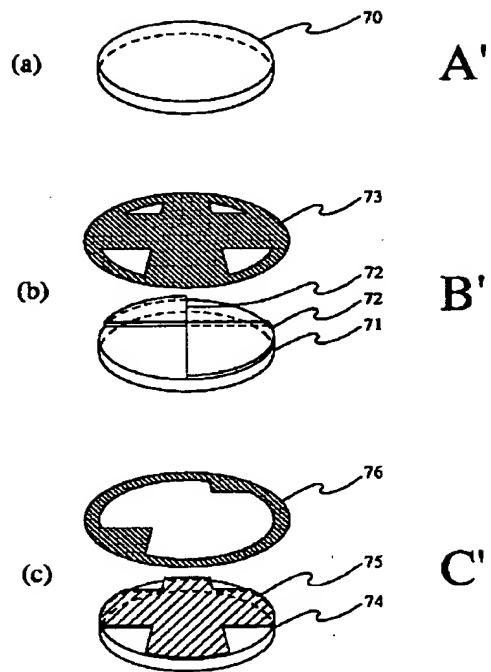
【図11】

図11



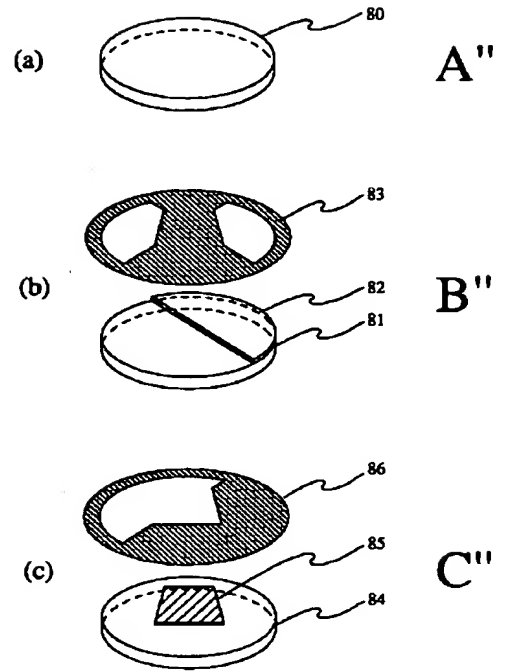
【図7】

図7



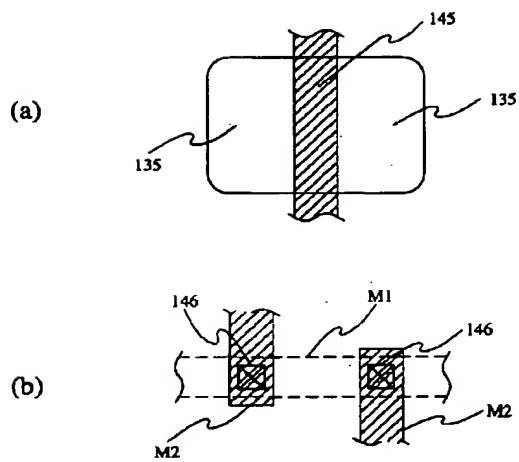
【図8】

図8



【図13】

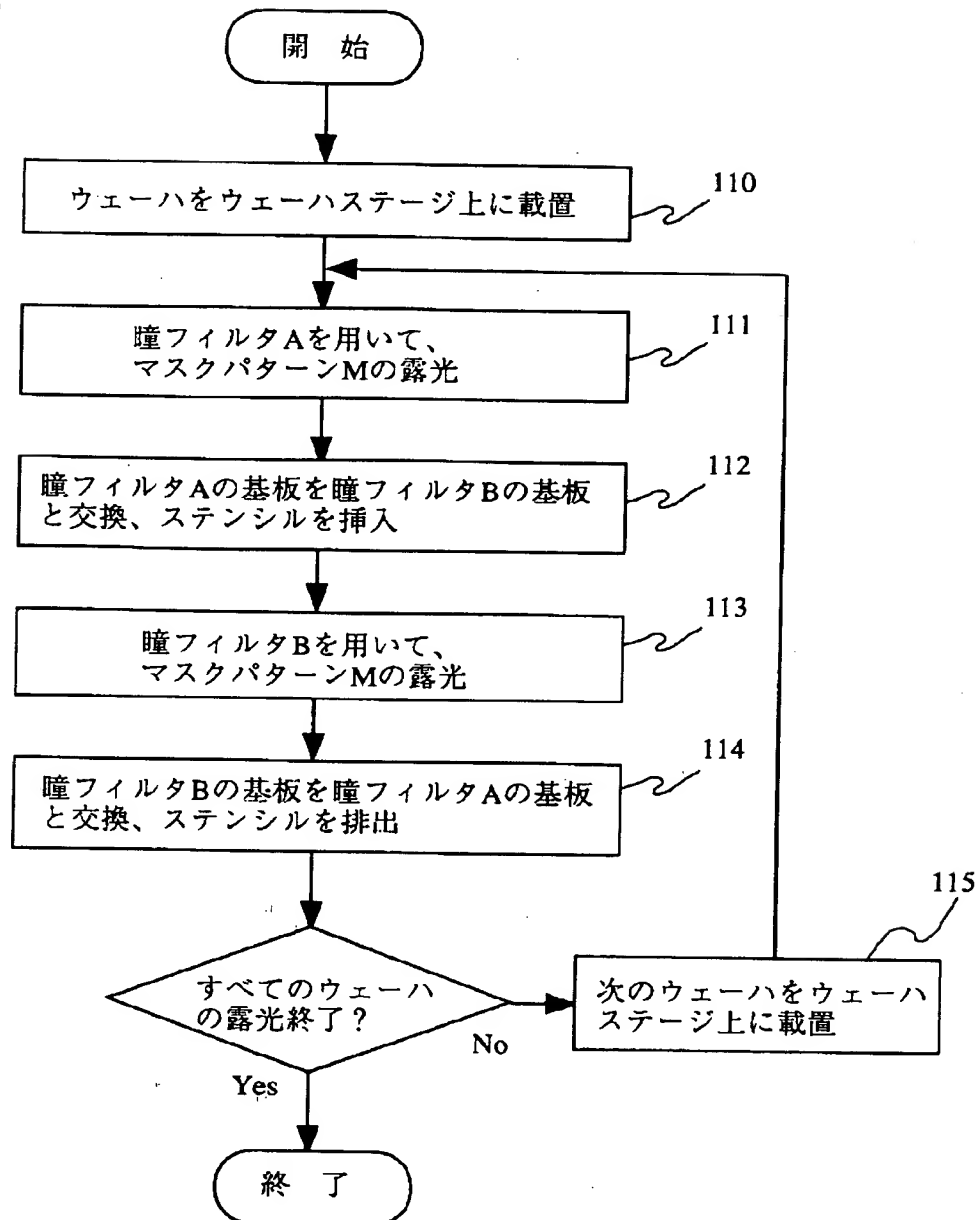
図13





【図10】

図 10



【図12】

図12

